

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Нікольського Валерія Євгеновича

на дисертаційну роботу Демірського Олексія В'ячеславовича

«Процеси теплопередачі при формуванні відкладень на робочих поверхнях розбірних пластинчастих теплообмінних апаратів», представлену на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

1. Актуальність теми

Пластинчасті теплообмінні апарати (ПТА) за останні десятиріччя зайняли домінуюче місце в різних галузях промисловості України як найбільш ефективні підігрівачі та охолоджувачі в різних технологічних процесах. По-перш всього це стосується таких напрямків як комунальна енергетика і харчова промисловість (виробництво цукру, спирту, олії та інше). Це пояснюється високою ефективністю передачі теплоти ПТА у порівнянні з апаратами інших типів, простотою та уніфікованістю конструкції, малими габаритами. Крім того, збільшилась номенклатура та зменшилась вартість виробництва апаратів такого класу на вітчизняному ринку.

На відміну від кожухотрубних, ПТА мають більший показник гідравлічного опору при проходженні теплоносіїв через апарат. Це приводить до більших втрат тиску, що особливо проявляється з появою відкладень на поверхні передачі, які зменшують загальну площу каналу для проходження рідини і змінюють його гідравлічні характеристики. Поява відкладень зменшує коефіцієнт теплопередачі, збільшує втрати на гідравлічний опір і в цілому призводить до невідповідності роботи теплообмінного апарату розрахунковим параметрам. Робота у такому режимі приводить до додаткових втрат енергії і періодичної зупинки ПТА на чищення.

Урахування появи відкладень на поверхні ПТА є головною проблемою для проектувальників і для експлуатаційників. Теоретично ця проблема не

вирішена. На практиці поява відкладень враховується на підставі досвіду проектувальників, емпіричних співвідношень, що одержані з експериментів або натурних спостережень. Фактично для кожної групи теплоносіїв потрібно своє наукове дослідження для визначення впливу появи забруднення, прогнозування його появи, інтенсивність зростання і вплив різних факторів на його утворення.

Коректний розрахунок ПТА з урахуванням появи забруднень дозволяє не тільки достовірно визначити площу поверхні теплообміну, але і його гідравлічні показники. Збільшення втрат тиску приводить до споживання додаткової енергії, тобто до економічних збитків.

Таким чином, тематика наукових досліджень, що представлена в дисертаційній роботі Демірського Олексія В'ячеславовича, є актуальною і спрямована на вирішення важливої науково-прикладної проблеми вдосконалення проектування та розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій і їхня достовірність

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів дисертаційної роботи базується на фундаментальних законах і принципах хімічної технології, використанні апробованих в хімічній технології методів моделювання, проектування і оптимізації теплообмінних апаратів.

В роботі надано новий метод розрахунку ПТА за критерієм наведених витрат, що враховує енергетичні затрати в процесі експлуатації. Це дозволяє на стадії проектування шляхом рішення задачі оптимізації визначити оптимальні значення втрат тиску, швидкість теплоносіїв в каналах теплообміннику.

Із застосуванням розробленого підходу розглянуто задачу проектування системи послідовно встановлених пластинчастих теплообмінників. За допомогою пінч-аналізу проведено аналіз роботи діючого устаткування, розроблено проект його заміни, який реалізовано на виробництві.

Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженням з показниками літературних джерел та одержаними експериментальними даними.

Наукові положення і висновки, сформульовані в дисертації, обґрунтовані з наукової і технічної точок зору і підтверджуються їх практичною реалізацією.

3. Наукова новизна

В процесі розв'язання науково-технічних задач, які були поставлені в роботі, виходячи з її мети, автором було отримано низку нових науково-технічних та практичних результатів, серед яких:

1. Розроблено метод оптимального проектування пластинчастого теплообмінного апарату та системи пластинчастих апаратів на основі критерію приведених витрат з урахуванням забруднення теплообмінної поверхні;

2. Набув подальшого розвитку метод модернізації теплотехнічних схем підприємств на основі аналізу енергоефективності з використанням методів пінч-аналізу;

3. Запропонована і апробована математична модель розрахунку поверхні тепловіддачі пластинчастого теплообмінника з урахуванням забруднення в процесі експлуатації;

4. Проведено систематичні натурні спостереження роботи системи послідовно встановлених пластинчастих підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням та отримані експериментальні дані по забрудненню поверхні теплообміну при швидкісному нагріванні води;

5. Отримала подальший розвиток модель прогнозування появи і зростання забруднень пластинчастих теплообмінників для різного виду кристалічних відкладень;

6. Запропоновано співвідношення для передбачення величини відкладень у підігрівниках цукрового соку.

4. Значення одержаних результатів для науки і практики

Наукове значення результатів роботи полягає в наступному:

1. Розвинуто теорію проектування пластинчастих теплообмінних апаратів з урахуванням появи забруднень на поверхні теплообміну.
2. Розроблено аналітичну модель проектування пластинчатого теплообмінника і системи пластинчатих теплообмінників за критерієм наведених витрат.
3. Одержані експериментальні дані появи і зростання кристалічних забруднень, що знайшло своє відбиття для подальшого розвитку теорії асимптотичного закону зростання відкладень.
4. Проведені аналітичні і практичні дослідження щодо впливу проектних значень втрат тиску на розрахунок поверхні теплообміну для одного теплообмінника і для системи послідовно встановлених пластинчастих теплообмінників.
5. Із застосуванням методу пінч-аналізу розраховані і встановлені ПТА для підігріву у відділенні випаровування цукрового соку.

Практичне значення одержаних результатів:

На основі отриманих теоретичних результатів та розроблених числових методів створено алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання низки прикладних задач:

1. Розроблено математичне забезпечення щодо проектування та розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів за критерієм наданих витрат з урахуванням появи забруднень на поверхні теплообміну апаратів.
2. Розроблено метод проектування реконструкції системи теплообмінних підігрівачів у хіміко-технологічному та харчовому процесі виробництва. Запроектовані та встановлені пластинчасті теплообмінники для підігріву цукрового соку, проведено моніторинг їх експлуатації.
3. Одержані експериментальні дані по розвитку кристалічних забруднень та дані моніторингу роботи пластинчатих підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням.

4. Результати досліджень впроваджені на Валуйському цукровому заводі (м. Валуйки), при реконструкції відділення підігріву цукрового соку перед випаровуванням; Немирівському спиртовому заводі (м. Немирів), де були запроектовані та встановлені дефлегматори ректифікаційних колон; АО «Співдружність-Т», де було впроваджено математичне забезпечення для розрахунків пластинчатих теплообмінників за запропонованою методикою.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес на кафедрі інтегрованих технологій, процесів та апаратів Національного технічного університету «ХПІ» для спеціальності 8.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва», а також при проведенні науково-дослідної роботи студентів.

5. Повнота викладення основних результатів роботи

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 21 науковій праці: з яких 14 статей у наукових фахових виданнях України (у т.ч. 5 – у наукометричних базах), 5 - у зарубіжних фахових виданнях, 2 – у матеріалах конференцій. Основні наукові положення і висновки, які представлені в дисертації та авторефераті, ідентичні між собою. Автореферат відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально відокремлює особистий внесок здобувача та демонструє апробацію результатів досліджень.

Теоретичні положення і практичні результати взаємопов'язані та отримані на основі аналітичного підходу та системного аналізу. Надані результати свідчать про особистий вклад здобувача в роботу.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури з 129 найменувань та додатків, в яких наведено результати розрахунків, натурних спостережень та акти використання результатів роботи. Загальний обсяг дисертації становить 228 сторінок, з них: 55 рисунків за текстом, 3

рисунки на 3 окремих сторінках, 24 таблиці за текстом. Обсяг дисертаційної роботи не перевищує встановленої норми.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, приведено наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів. Наведено відомості про апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** надано аналіз існуючих наукових публікацій, що розглядають проблему формування відкладень на поверхні теплообміну і впливу забруднень на працездатність теплообмінників. Приведено аналіз сучасного стану проблеми прогнозування впливу забруднень на працездатність пластинчатих теплообмінників, розглянуто різні механізми осадження продуктів забруднення, їх видалення і винесення потоками теплоносіїв, наведений аналіз сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень, що присвячені прогнозуванню та розрахунку параметрів забруднення теплообмінної поверхні. Розглянуто більшість узагальнених емпіричних залежностей для підрахунку коефіцієнта тепловіддачі (коефіцієнтів теплопередачі) та оцінки втрат тиску (гідравлічного опору) у каналах ПТА та приєднаннях.

Другий розділ присвячений аналізу теоретичних основ оптимального проектування ПТА з урахуванням забруднень поверхні теплообміну. Наведено аналітичне рішення задачі оптимального розрахунку ПТА за критерієм наданих витрат, що дозволяє визначити оптимальне значення втрат тиску при проектуванні. Вказана методика поширена на вибір оптимальних параметрів двоступеневих підігрівачів, а також для оптимального розрахунку системи послідовно встановлених ПТА.

Розглянуто математичне моделювання процесу утворення і зростання забруднень на поверхні теплообміну ПТА. Зроблено висновок, що орієнтовно значення коефіцієнта термічного забруднення або запасу поверхні теплопередачі при забрудненні в середньому не повинно перевищувати 10%.

Показано, що надмірне збільшення поверхні теплопередачі може викликати порушення виконання апаратом своїх функцій: зменшення

швидкості теплоносіїв в каналах за рахунок кількості каналів, втрати тиску, і, як наслідок, падіння величини дотичного напруження на стінці і зростанню забруднень і відкладень.

Розглянуто математичну модель, яка описує вплив геометричних параметрів пластини (кут нахилу гофрування, висота та крок гофри) на робочі характеристики ПТА.

У **третьому розділі** розглянуто експериментальні та натурні дослідження процесів формування відкладень на поверхні нагріву. Наведені дані по експериментальному дослідженню кристалічного забруднення при нагріванні води.

Представлені результати натурних спостережень роботи чотирьох пластинчастих підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням на Валуйському цукровому заводі. Згідно аналізу одержаних результатів зроблено висновок, що основу відкладень на поверхні нагрівання підігрівачів сатураційного соку і підігрівачів перед випарною станцією складають кристалічні структури карбонату кальцію, гіпс, кремнезем і органічні речовини.

У **четвертому розділі дисертації** запропонована загальна методика порядку проведення реконструкції, яка передбачає заміну кожухотрубних апаратів на пластинчасті.

Рекомендовано оцінку енергоефективності виробничого об'єкту в цілому проводити з використанням методу пінч-аналізу, після чого здійснюється оптимальне проектування системи пластинчастих теплообмінних апаратів за критерієм приведених витрат.

П'ятий розділ дисертації присвячений результатам практичного впровадження, реконструкції і проектуванню нових систем ПТА на виробництві.

Моніторинг експлуатації встановлених теплообмінників показав високу точність та якість розрахунків, що підтверджується працездатністю встановленого пластинчастого обладнання протягом декількох сезонів експлуатації.

Наведена математична модель дає можливість прогнозувати термічний опір забруднень для механізмів формування накипу і осадження зважених часток при різних швидкостях потоку і температурах поверхні стінки.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертація Демірського О.В. за змістом представляє собою закінчену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність наукових теоретичних положень і практичних результатів, що свідчить про індивідуальний внесок здобувача в науку і практику. Дисертація написана і оформлена згідно з вимогами. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

7. Зауваження по змісту і оформленню дисертації та автореферату

1. Автором використовується співвідношення Янга и Критендена, але достовірність і працездатність застосування його не підтверджена. Необхідно показати адекватність застосування вказаного співвідношення у даному випадку.

2. Не вказано як обирається коефіцієнт амортизаційних відрахувань у методиці розрахунку ПТА.

3. Використовується поняття мінімального значення допустимих втрат тиску, але не розкрито, у чому сенс і яким чином ця величина обирається.

4. При розгляді інтенсивності осадження відкладень передбачено лінійний закон зміни дотичних напружень у співвідношенні (2.37), але це ніяк не пояснено і не обґрунтовано.

5. На стор. 69 товщина відкладень, що раніш була позначена як δ_f позначена як x_f .

6. Формула для підрахунку втрат тиску та її розшифровка приводиться два рази на стор.47 і стор.129.

7. В роботі зустрічаються граматичні і синтаксичні недоліки.

Проте, вважаю, що вищенаведені зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, не зменшують її наукову новизну та практичну значимість.

8. Висновок про відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Демірського Олексія В'ячеславовича на тему «Процеси теплопередачі при формуванні відкладень на робочих поверхнях розбірних пластинчастих теплообмінних апаратів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології, є завершеним науковим дослідженням, містить науково обґрунтовані результати, які у сукупності вирішують актуальну наукову проблему розвитку науково-прикладних основ проектування пластинчастих теплообмінних апаратів, що має суттєве значення для хімічного машинобудування України.

Робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Демірський Олексій В'ячеславович заслуговує присудження наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент
професор кафедри енергетики
Українського державного
хіміко-технологічного
університету,
доктор технічних наук, доцент

Нікольський В.Є.

29.11.2017

Згідно з вимогами:
проф. Нікольський В.Є.
[Підпис]